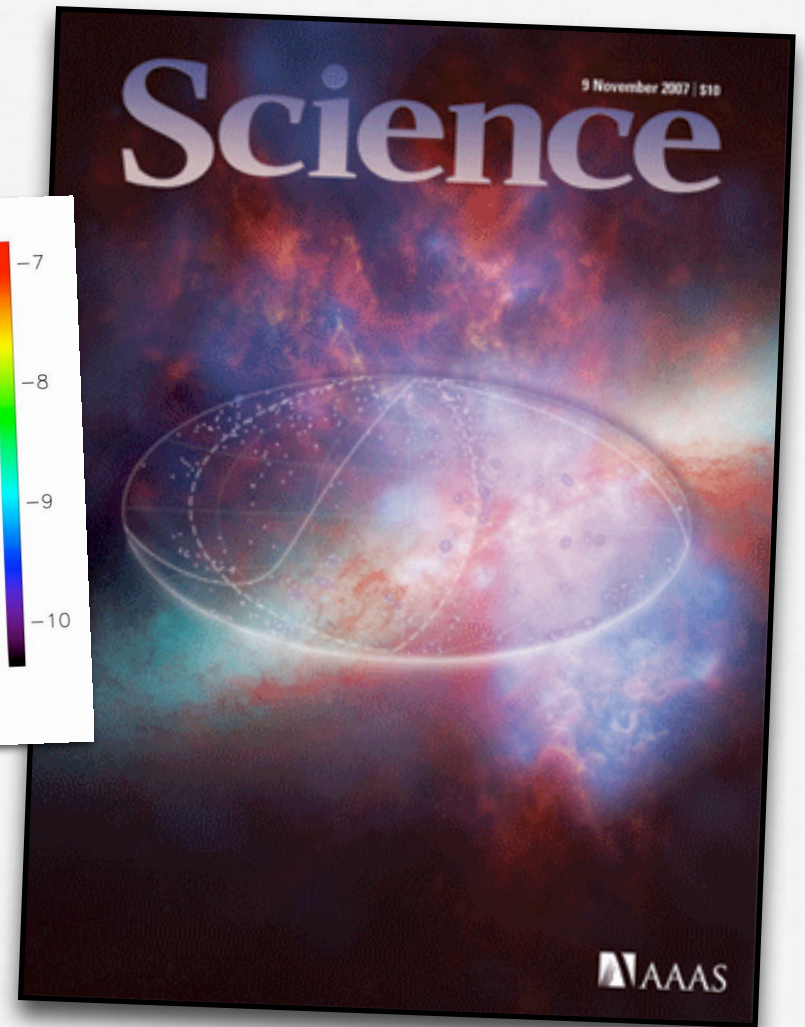
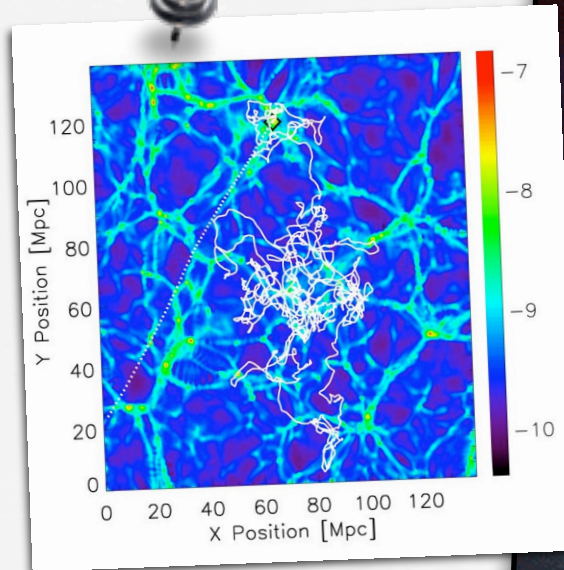
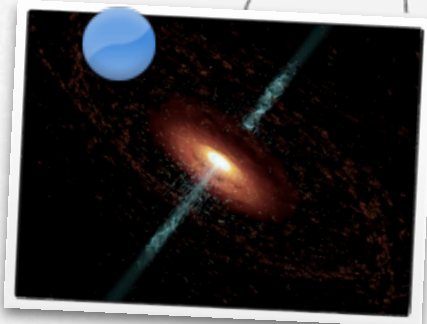
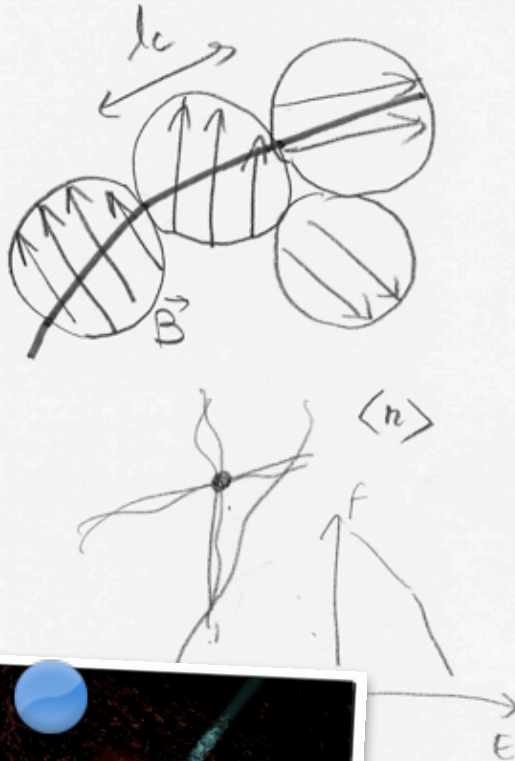


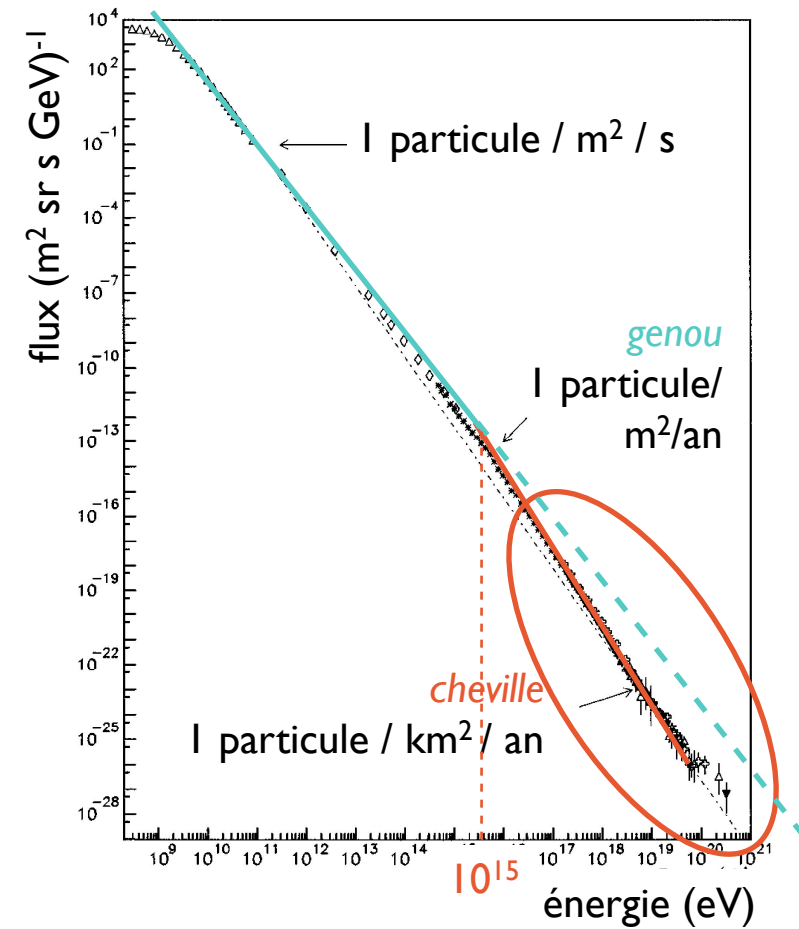
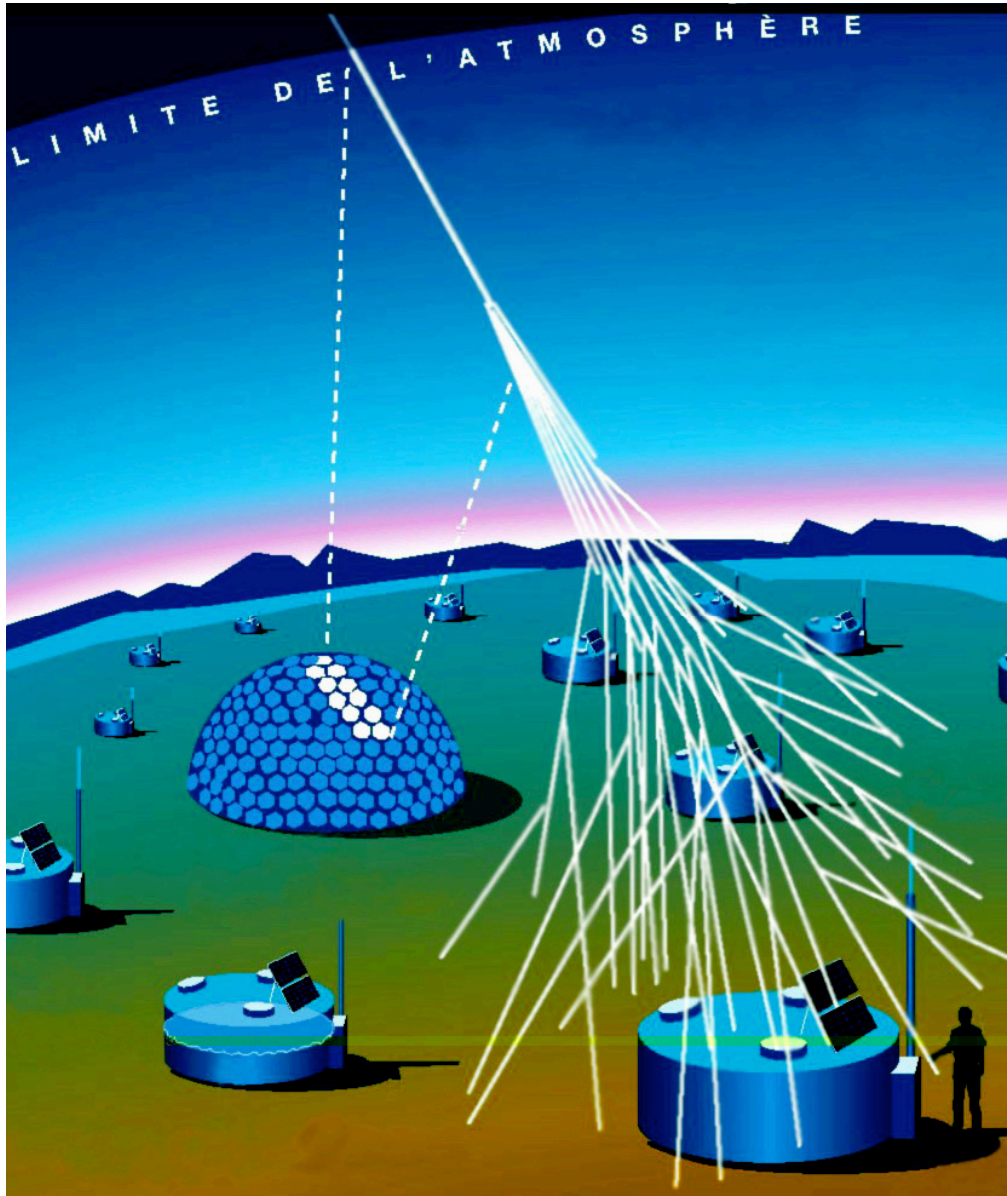
# Les rayons cosmiques de UHE : d'où et comment nous arrivent-ils ?

$$n_L = \frac{E}{ccB} \text{ anim}$$



# Rayon cosmique ?

C'est quoi ?



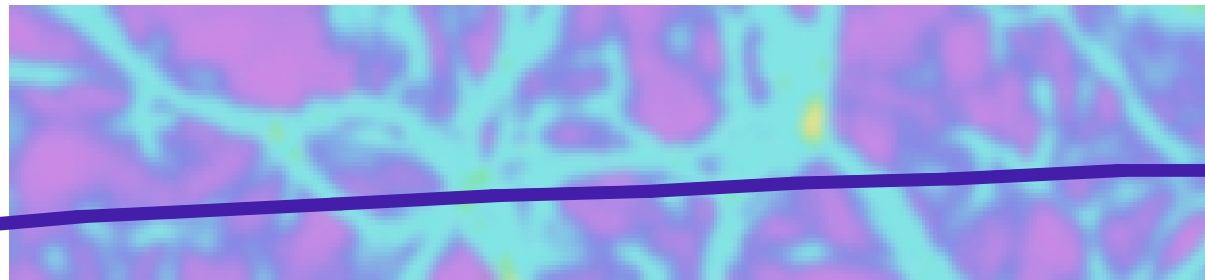
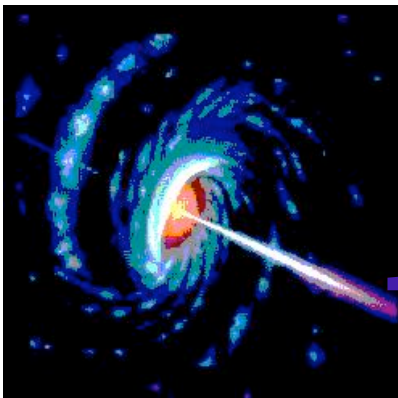
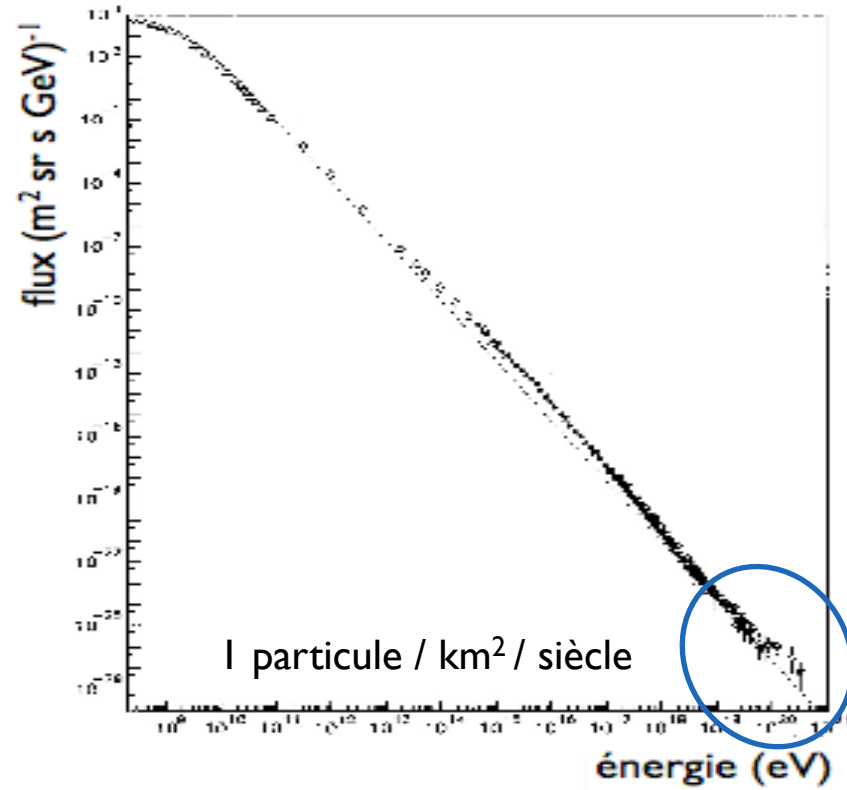
Comment ça marche ?  
mécanismes d'accélération

Ça vient d'où ?      déflexions  
directions d'arrivée      sources

et comment ?

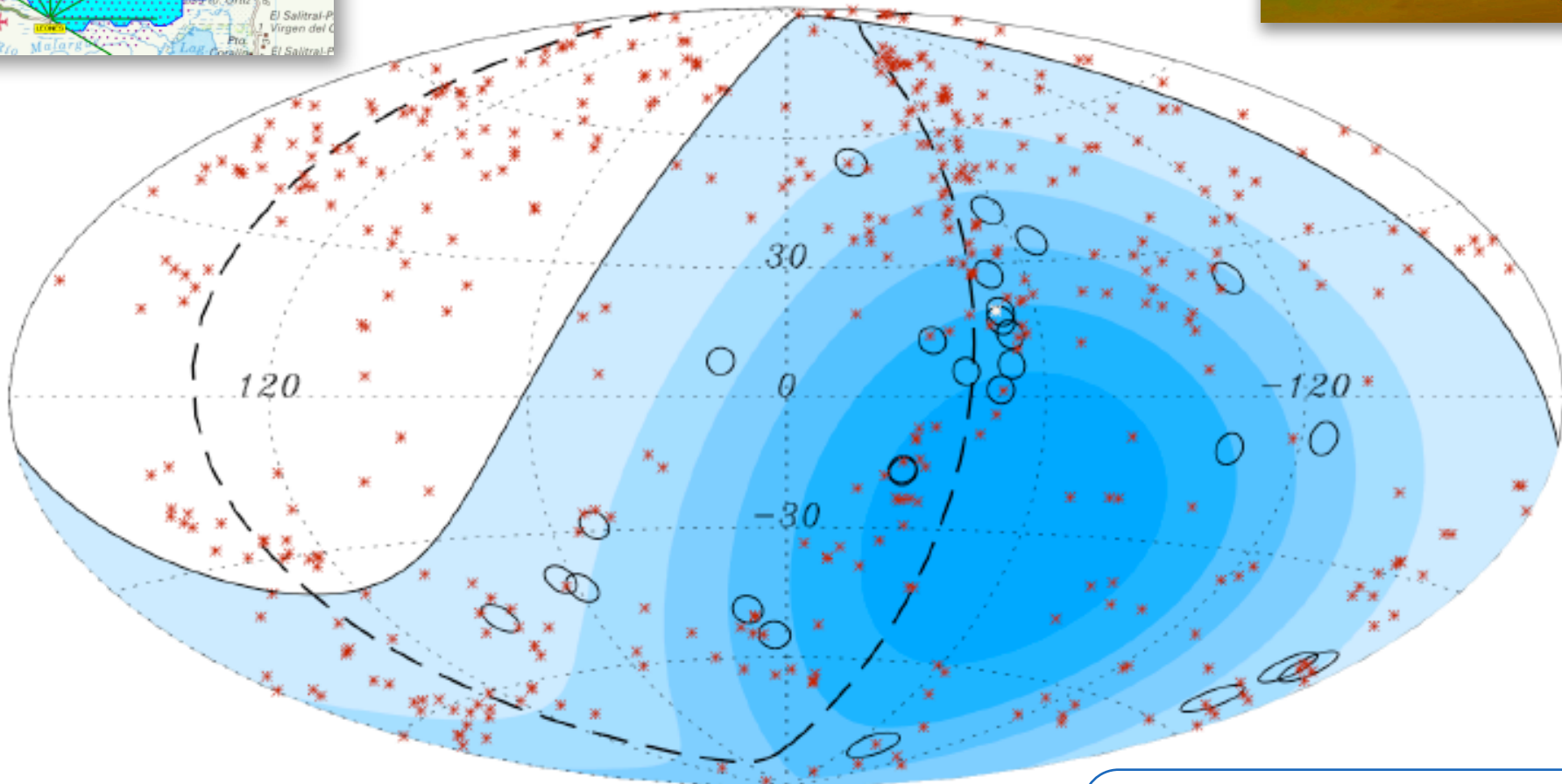
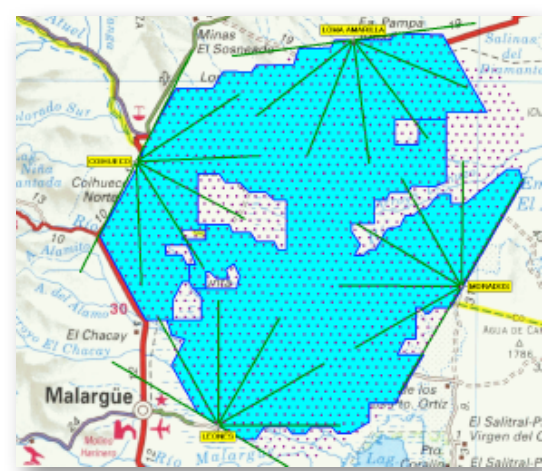
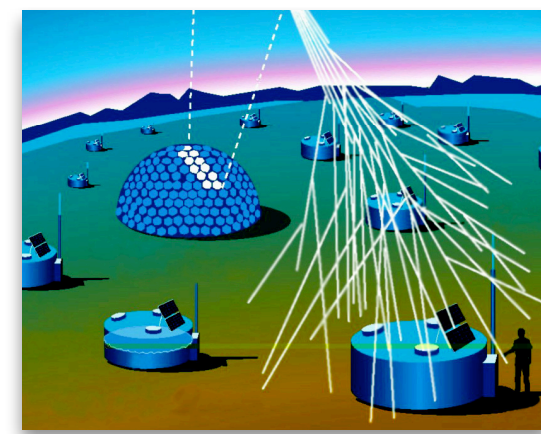
champs magnétiques  
extra-galactiques      propagation

# Les sources



$$E = 10^{20} \text{ eV}$$

# Observatoire Pierre Auger



Auger Coll., *Science*, Nov. 2007

20 événements sur 27 à moins de  $3,1^\circ$   
d'AGN situés à  $D < 75$  Mpc

- \* AGN  
(catalogue Véron-Cetty, 472 objets)
- sensibilité du détecteur
- - plan super-galactique

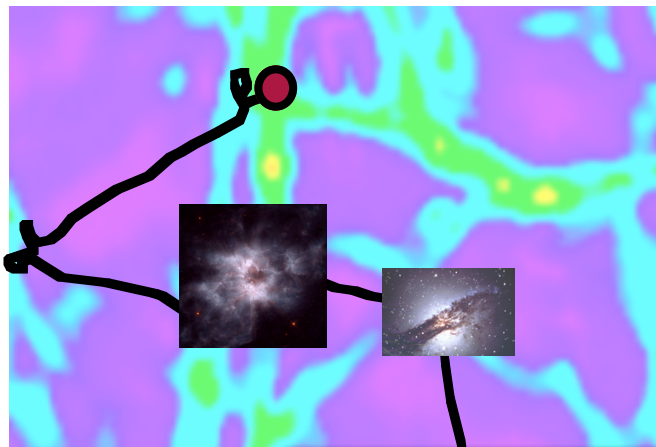
# AGN = SOURCES ??

PAS forcément !

AGN corrélés avec densité de matière

possible que sources =  
autres objets agglomérés dans régions denses

Autre possibilité :

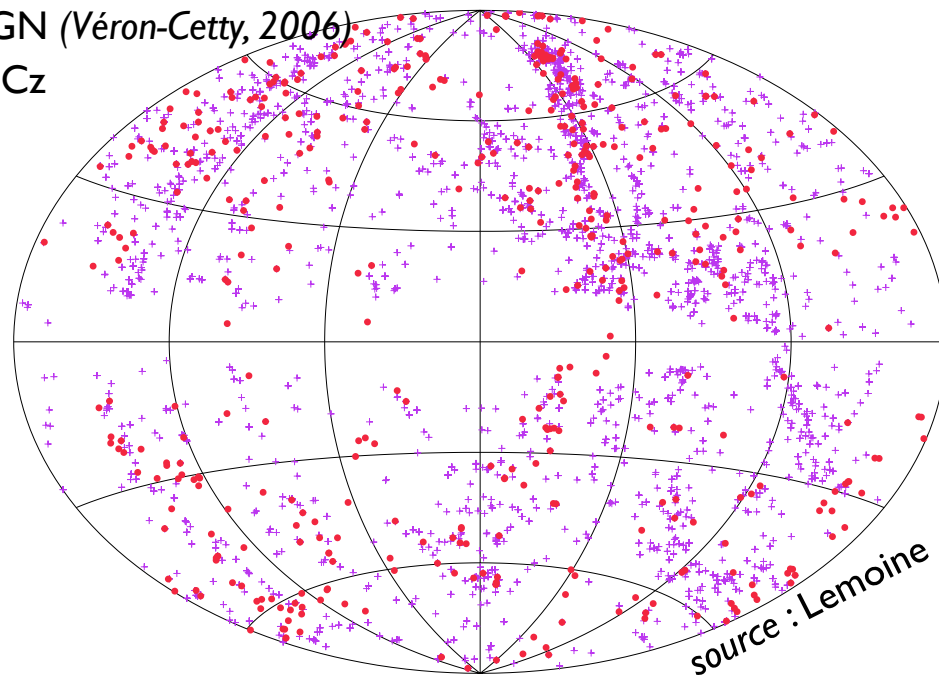


centres diffuseurs

on voit la particule arriver du dernier centre diffuseur



\* AGN (Véron-Cetty, 2006)  
\* PSCz

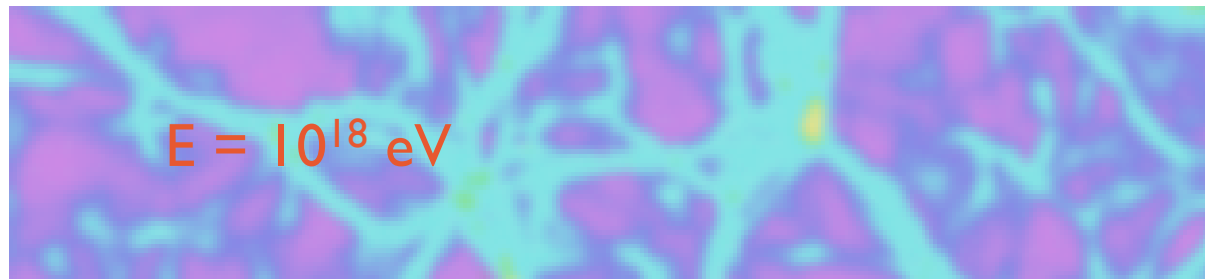
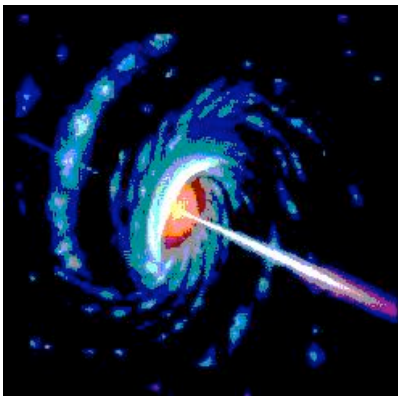
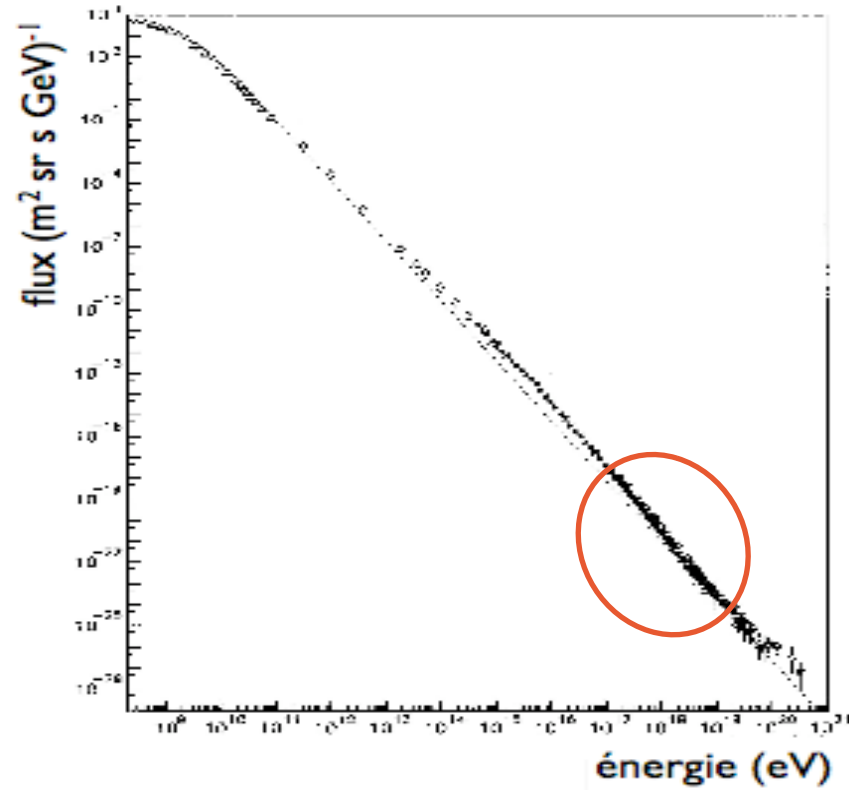


définir la profondeur optique  $\tau(E)$  :

- l'Univers est-il opaque ou transparent aux rayons cosmiques de UHE ?
- peut-on remonter à la source ?

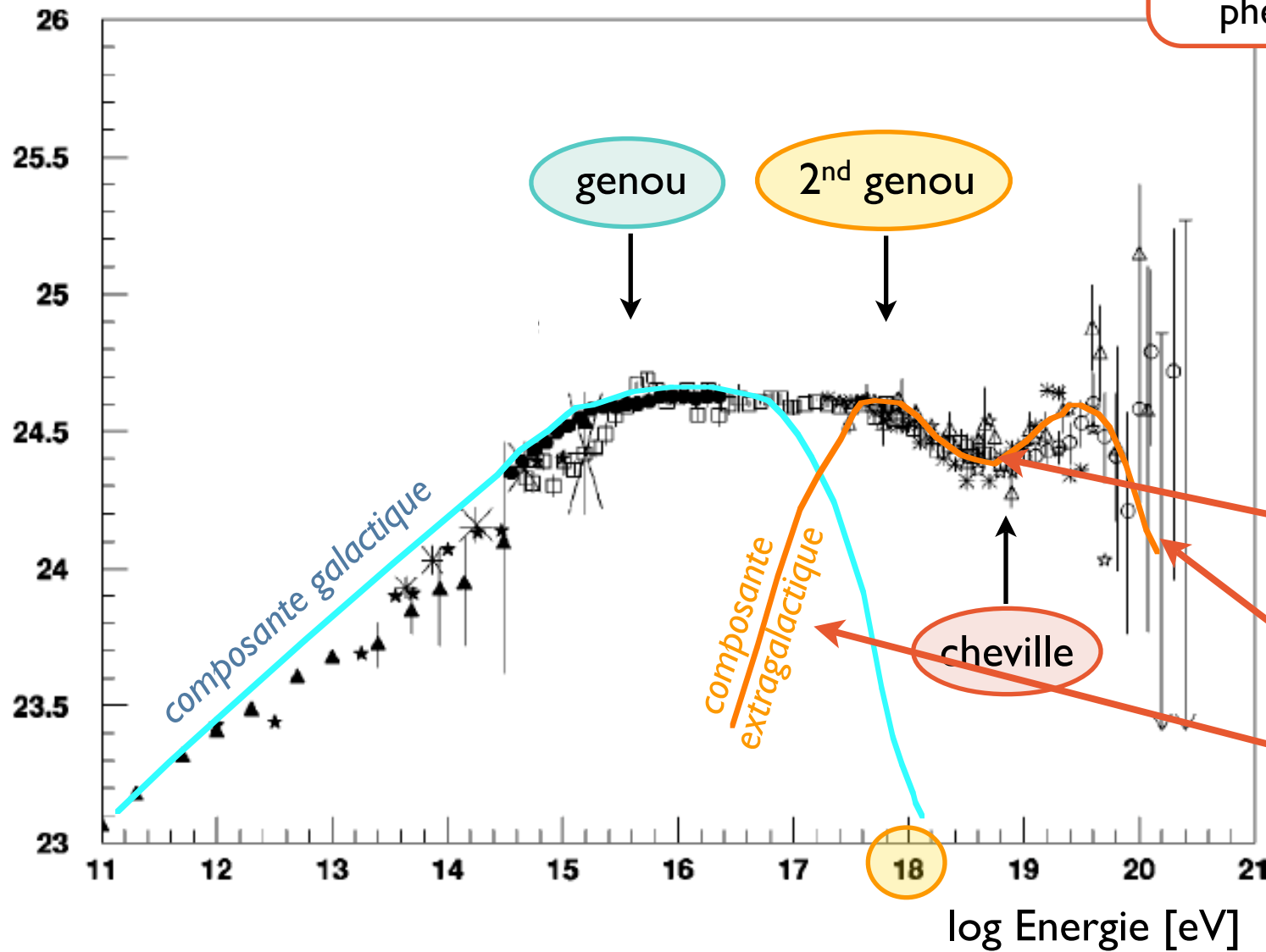
Lemoine & Kotera 2008, en préparation

# La propagation



# Spectre à très haute énergie

$\log E^3 J(E)$  [ $\text{eV}^3/\text{m}^2/\text{sr}/\text{sec}$ ]



*changements de pente :*  
nouvelle composante ?  
phénomène lié à la propagation ?

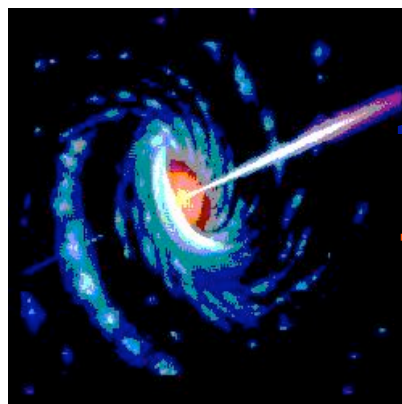
*Berezinsky et al. (2002)*  
sources situées à  
distances cosmologiques

pertes d'énergie  
(production de paires)  
coupure GZK

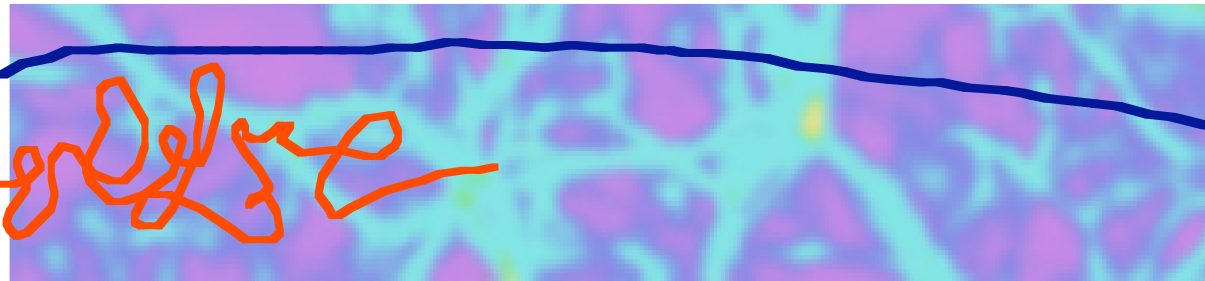
???

# L'effet d'horizon magnétique

*Lemoine (2005), Aloisio & Berezhinsky (2005)*



$E = 10^{20}$  eV



$E = 10^{17}$  eV

→  $t_H = 14$  Gyr

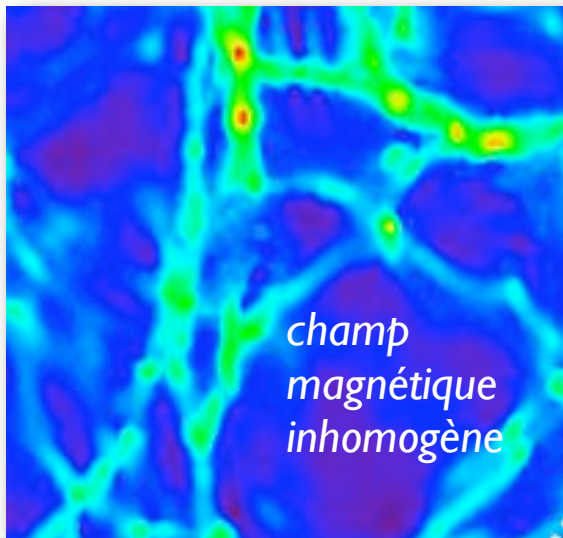
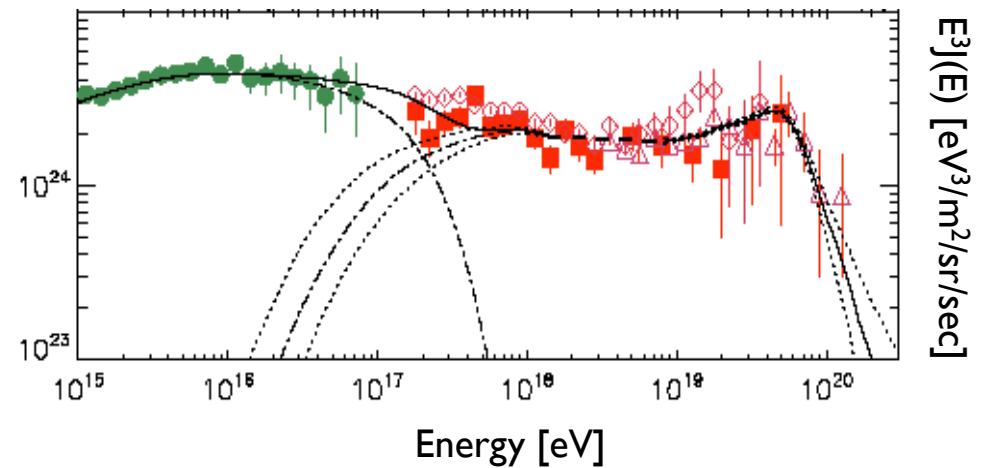


# L'effet d'horizon magnétique : résultats

champ magnétique  
homogène

calculs analytiques

Lemoine (2005),  
Aloisio & Berezhinsky (2005)



???

simulations numériques

Kotera & Lemoine (2007)  
Sigl (2007)

# Simulations numériques

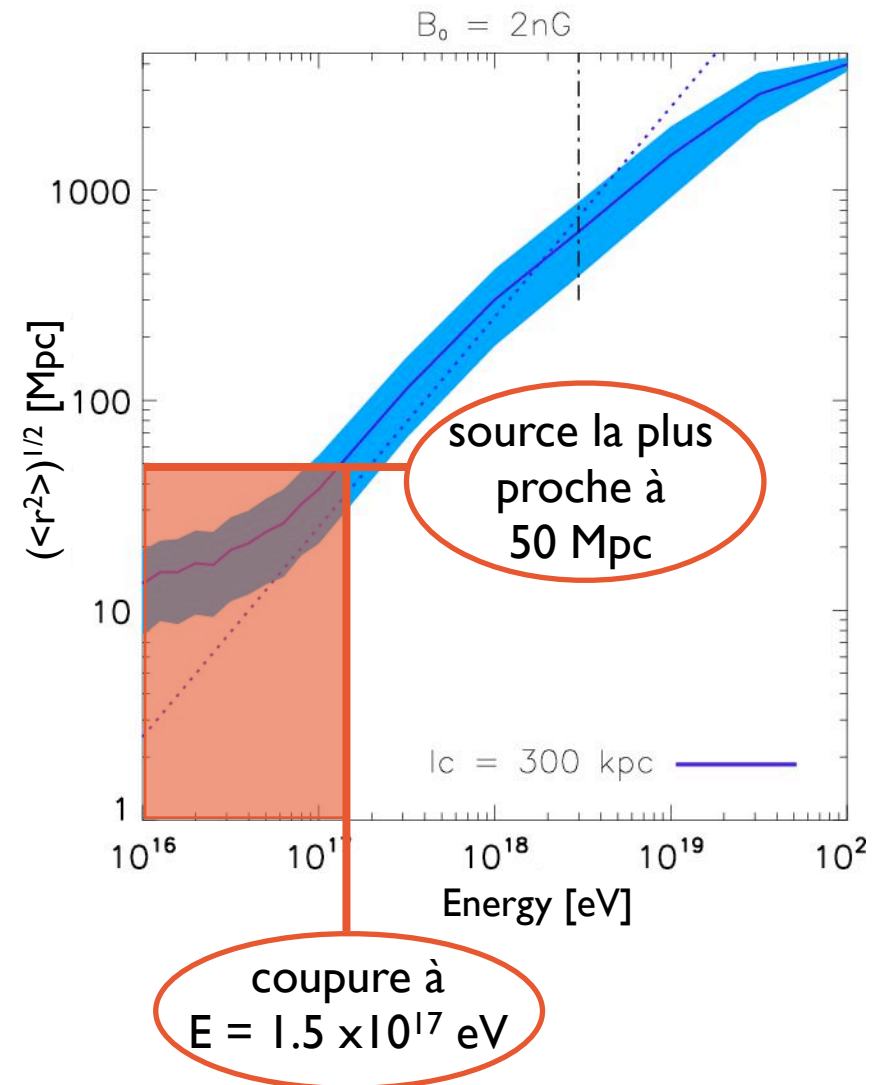
modélisation du champ magnétique

grille de densité d'une simulation cosmologique

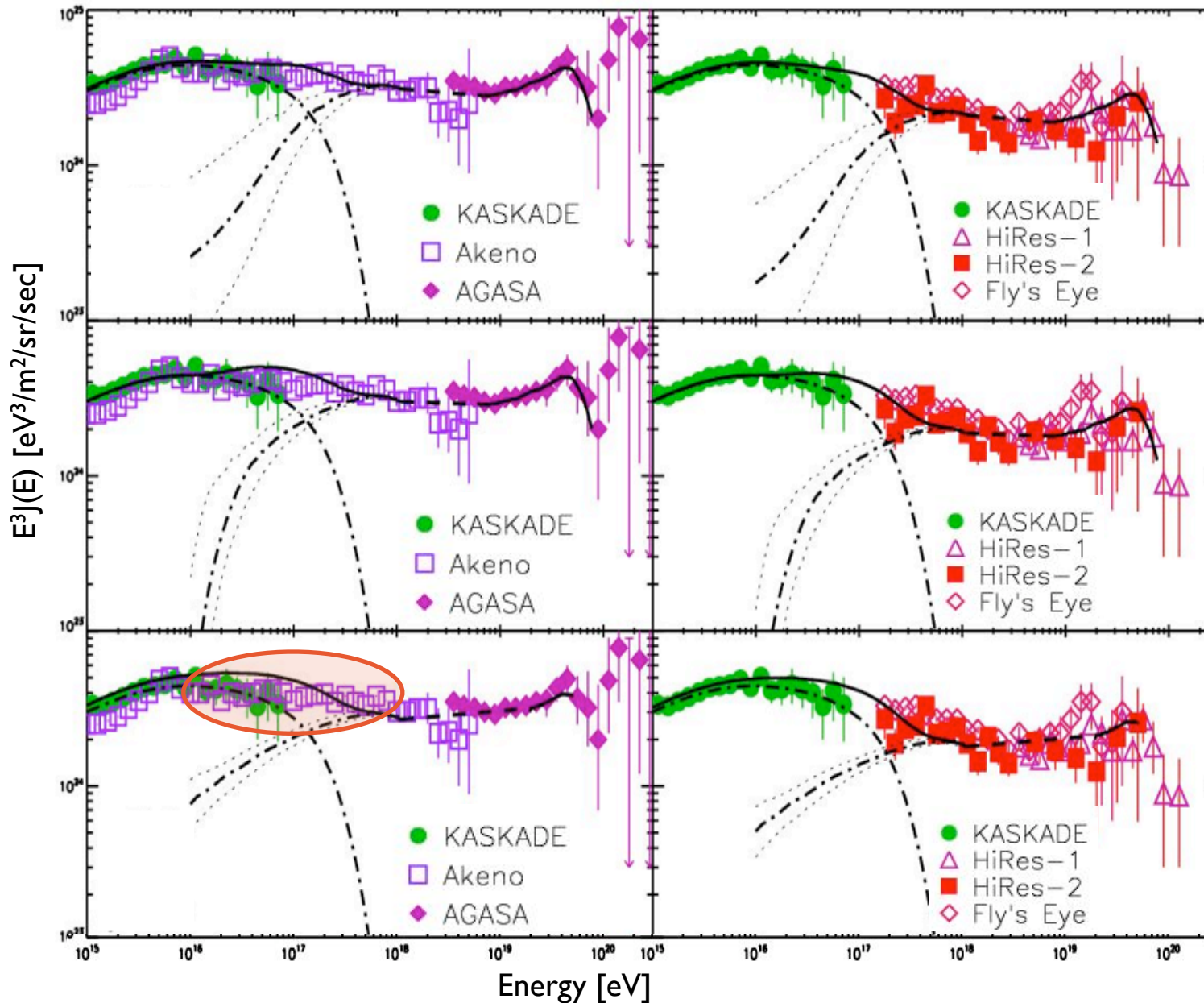
$$B = f(\rho)$$

- 1) B peu contrasté
- 2) B moyennement contrasté
- 3) B très contrasté

distance parcourue en un temps de Hubble



# Comparaison avec les spectres observés



**B peu contrasté**  
 $B_0 = 2 \text{ nG}$   
 $l_c = 300 \text{ kpc}$   
 $n_s = 10^{-5} \text{ Mpc}^{-3}$

**B assez contrasté**  
 $B_0 = 2 \text{ nG}$   
 $l_c = 100 \text{ kpc}$   
 $n_s = 10^{-5} \text{ Mpc}^{-3}$

**B très contrasté**  
 $B_0 = 2 \text{ nG}$   
 $l_c = 30 \text{ kpc}$   
 $n_s = 10^{-6} \text{ Mpc}^{-3}$

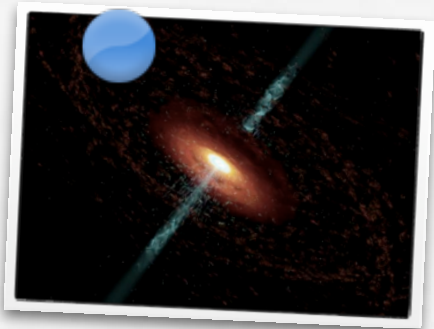
# Conclusion

Auger : corrélation forte entre AGN et directions d'arrivées de rayons cosmiques.

MAIS : les sources ne sont pas forcément les AGN.

L'effet d'horizon magnétique ne reproduit PAS les données si le champ magnétique extra-galactique est fortement contrasté.

D'autres informations sur les sources dans les années à venir avec Auger.



Des informations sur le champ magnétique extra-galactique avec SKA.

